

# Zulo beltzen muga inguruetan (I)

Jesus Arregi

**Z**ulo beltzak deskribatzeko beren masa, momentu angeluarra, eta agian karga baino behar ez izateak, neurri batean objektu sinpletzat hartzera eraman gaitzake. Nolanahi ere zulo beltzak, beren inguruan den guztia irentsi eta argiari ihes egiten uzten ez diotelako, objektu ikustezinak direla esanda ere irudi sinpleegia erakusten da. Segidan irudi hori pixka bat osatzen saiatuko gara, zulo beltzen egitura aztertuz. Oraingoan biraketa-higidurarik gabekoez baizik ez gara arituko.

Erlatibitate orokorraren teoriak ematen digun zulo beltz estatikoen irudiaren arabera, hauek esferikoak dira, baina irensten duten materiak ez du betetzen Schwarzschild-en erradioari dagokion bolumen osoa. Schwarzschild-en erradioa zulo beltzaren muga dela kontsideratzen da, berak definitutako esferara erortzen den materiak bertatik atera ezin duelako, baina esfera hori ez dago dena materiaz beteta eta ez du neutroi-izar batek edo planeta batek izan dezakeen bezain gainazal trinkorik. Schwarzschild-en erradioak definitzen duen oskol irudikariari gertaeren horizontea deitu ohi zaio eta, esan bezala, muga bat baino ez da. Berau igarotzen duen materiak ez du inolako efektu berezirik jasaten. Gertaeren horizontea igaro ondoren, materiak bidaiari segitzen dio eta dena esferaren zentruan pilotzen da, dentsitate infinituko puntu batean. Zer esanik ez, honelako puntuak buru-hauste handiak sortzen dizkie zientzilariei, eta izena ere berezia jarri zaio: puntu singularra. Dena den, honetaz azkenaldera hitz egingo dugu, lehenengo gertaeren horizontearen izaera argitu behar dugu pixka bat eta. Horretarako balizko astronauta baten atzetik joango gara zulo beltzera murgildu arteko bidaiari.

Jakina denez, erlatibitate orokorraren teoriak ez du grabitatea ukipenik gabe transmititzen den indar gisa deskribatzen. Einstein-en teoriaran espazioak eta denborak osotasun bakar bat eratzen dute, eta grabitatea, masak bere inguruko espazio/denboraren geometriari sortzen duen deformazioaren ondorioa da. Masarik gabeko espazio/denbora hutsa erabat launa da, baina materiari egonez gero, espazio/denboraren geometria makurtu egiten da eta makurdura edo kurbadura hori da masak higiarazten dituen. Espazio/denboraren kurbadura distantziarekin txikiagotu egiten denez, zulo beltzetik urrun dauden eskualdean gaineko eragina txikia edo ia hutsa da. Beraz, gure astronautak

eskualde hauetan ez luke inolako arazorik izango erabateko askatasunez higitzeko. Aldiz, zulo beltzetik zenbat eta hurbilago, hainbat eta potentzia handiagoz erabili beharko lituzke espaziuntziaren motoreak, toki batean geldirik egon edo erortzerik nahiko ez balu. Dena den, motorearen potentziaren goi-mugak ez digu ardura, gure bidaiak helburu zulo beltza duelako. Hala ere, bidaiari egin eta zulo beltzean barrera ibili nahi izanez gero, astronautak ondo pentsatu beharko luke bere espaziuntzia zein zulo beltzetara gidatu. Zulo beltz handia hautatu beharko luke. Osterantzean, zulo beltzak sortutako marea-indarrak espaziuntzia eta bere edukina suntsitu egingo lituzke. Baina arazo hau astiroago azal dezagun.

## EFEMERIDEAK

EGUZKIA: apirilaren 20an, 1 h 49 min-tan (UT) Taurusen sartzen da.

ILARGIA:	ILBETE	ILBEHERA	ILBERRI	ILGORA
eguna	6	13	21	29
ordua (UT)	18 h 43 min	19h 39 min	23 h 49 min	12 h 40 min

### PLANETAK

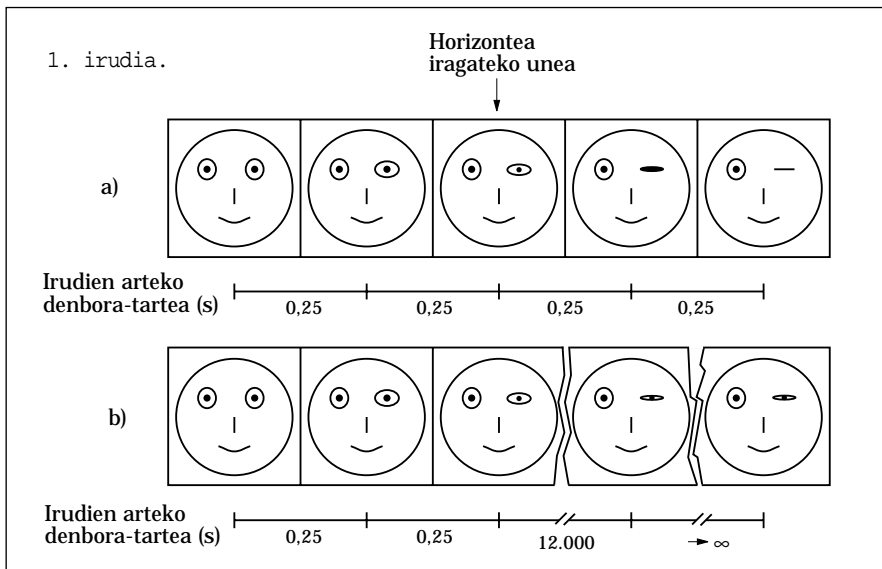
MERKURIO: lehenengo astean elongazio maximo pasatuko da. Beraz, egun horiek dira egokienak Merkurio goizaldera ikusteko. Dena den, elongazio maximo hau ez da oso egokia.

ARTIZARRA: hilaren batean konjuntzioa dago; beraz, ikustezin. Bigarren hamabostaldia aurrera joan ahala ikusi ahal izango dugu goizaldera.

MARTITZ: iluntzean zeruan altu agertzen da eta ez da mendebaldeko horizontetik desagertzen 1 h (UT) arte. Hala ere, bere magnitudea txikiagoatuz doa.

JUPITER: oposizioa pasa berri dela eta, gau osoan dugu ikusgai. Ilundu orduko bistan da eta gauean zehar zeharkatzen du zerua.

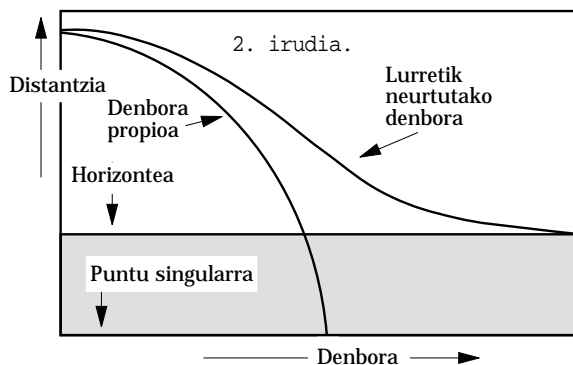
SATURNO: goizaldera, egunsentiaren lehenengo argitasuna baino orduerdi lehenago agertzen da, eta egunetik egunera gero eta lehenago.



Jakina denez, grabitatearen indarra sortzen duen masarekiko distantziaren arabera txikiagotu egiten da. Lurra edo Ilargia bezain masa txikiko astroen kasuan, indarraren distantziarekiko menpekotasun honek sortzen dituen efektuak ez dira oso bortitzak, baina inola ere ez arbuia-garriak. Adibidez, Ilargiak Lurrean eragiten dituen itsasaldien arrazoa Ilargiaren erakarpen-indarra gure sateliteari begira dagoen Lurraren aldean aurkakoan baino handiagoa izatean datza. Era berean, astronauta espaziuntzian zutik dagoela kontsideratzen badugu, zulo beltzak hankak erakarriko dizkion indarra handiagoa izango da burua erakarriko diona baino. Lurrean nahiz izarren masa eta dentsitatea duten astroetan, metro gutxiren mailan diferentzia hau erabat arbuia-garria bada ere, nahikoa izan daiteke zulo beltzen kasuan astronauta spaghetti baten gisa luzatu eta birrintzeko. Adibidez, pentsa dezagun giza gorputzak ezin duela egurats-presio normala baino ehun aldiz handiagoa den tentsio edo presiorik jasan. Kasu horretan  $10 M_{\odot}$ -ko zulo beltzean (bere erradioa 30 km-koa izango litzateke), astronauta gertaeren horizontea baino 400 km gorago hilko litzateke. Dena den, marea-indarren intentsitatea sortzen dituen materiaren dentsitatearen menpekoa da. Zulo beltza zenbat eta masatsuagoa izan dentsitatea txikiagoa denez, espazio/denboraren geometria gutxiago kurbatuko da eta marea-indarrak txikiagoak izango dira. Esate baterako,

astronautak ez luke inolako arazorik izango  $1.000 M_{\odot}$ -ko zulo beltz baten horizontea iragateko.

Astronautaren ikuspuntua azertu ondoren, beste galdera bati erantzuten saiatuko gara ondoren: nola ikusiko genuke Lurretik iragate hori espaziuntziaren hegaldia kontrolatzen ariko bagina? Galdera honi erantzuteko kontuan izan behar dugu erlatibitate orokorraren teoriaren arabera denbora ez dela berdin iragaten azelerazio erlatiboaz higitzen diren bi behatzaileentzat. Beraz, astronomoak neurtuko lukeen denbora eta Lurretik neurtuko genukeena ez lirateke berdinak izango. Aztertu nahi dugun gertaera bizi duen behatzaileak neurtzen duen denborari, denbora propioa deitzen zaio, eta besteei itxurazko denbora. Esaterako, itxurazko denborak bi fenomenoren artean neurtzen duen denbora-tartea beti da luzeagoa denbora propioan neurtutakoa baino; luzeagoa azelerazio erlatiboa zenbat eta handiagoa izan. Hori dela eta, gertaeren horizontea iragatean, espaziuntzia oso azelerazio handiz higitzen denez, astronomoak neurtzen dituen denbora-tarteak finituak izan arren, itxurazko



denboran neurtuko genituzkeen mugagabe handiagotuko lirateke. Esan nahi dena hobeto ulertzeko, pentsa dezagun astronomoarekin hitz egin dugula gertaeren horizontea iragatean keinu bat egin diezagun. Lehenengo irudiko a) atalean espaziuntzian legokeen kamera batek keinua nola grabatuko lukeen ikus dezakegu. Ikusten denez, hirugarren argazkia iragateari dagokiona da, eta ez da ezer berezirik gertatzen. b) atalean, berriz, grabaketa Lurrean nola jasoko genukeen ikus daiteke, hau da, itxurazko denbora-tarte berdinak neurtuz jasoko genituzkeen irudiak. Hasieran, gure pantailan ikusiko genukeena eta a) ataleko sekuentzia berdinak izango lirateke, baina espaziuntzia horizontera hurbildu ahala, denbora-tarte berdinetan jasoko genituzkeen irudiak ia elkarren berdinak izango lirateke, astronautak horizontea iragaten duen unea erakutsiko ligukeelarik. Nolabait esan, denbora eta irudiak izoztu egiten dira. Horizontea iragan ondorengo argazki biak ez lirateke inoiz iritsiko, noski, zulo beltzetik ezin da ezer atera eta. Beste era batera esanda, zulo beltzaren muga ingurutik ateratzen diren irudiak, edo erradiazioak azken batez, gero eta itxurazko maiztasun txikiagoz ateratzen dira. Horregatik, gainera, erradiazioa gorrirantz lerratzen da, energia galtzen du eta irudian intentsitatea gero eta ahulagoa da.

Bigarren irudiko "Lurretik neurtutako denbora" kurbak, azaldu berri duguna ere adierazten digu. Beste kurbak denbora propioa adierazten du eta, ikusten denez, inolako aldaketa berezirik gabe igarotzen segitzen du zulo beltzera (irudian marraduraz adierazita) sartu ondoren ere. Bertan ikusten denez, singularitasunerainoko ezinbesteko bidaia ere denbora propio finituan gertatzen da. Adibidez,  $10 M_{\odot}$ -ko zulo beltz batentzat denbora hori segundo-hamarmilarena baino ez litzateke izango, eta galaxia baten nukleoan eratuko litzatekeen batentzat ordubetekoa ere izango litzateke. Dena den, zulo beltzen barruko kontuez aritzen garenean, kontuan izan behar dugu erlatibitate orokorraren teoriak auresaten duen puntu singularra oso puntu berezi eta ulergaitza dela, eta bertan gure teoriak auresandakorik edo egoerarik deskribatzeko bere gaitasun guztia galdu egiten duela. Hori dela eta, askoren ustez ezingo dugu zulo beltzaren barruko dinamika oinarri minimo batez aztertu Einsteinen teoria mekanika kuantikoaren printzipioak kontutan hartuz garatzen ez den bitartean, hau da, grabitazio kuantikoa garatzen ez den bitartean.  $\curvearrowright$